

Таким образом, инновационные транспортные средства позволяют не только рассмотреть новые подходы к формированию и функционированию транспортной системы Сибири, но и позволяют эффективно интегрироваться с транспортной системой центральной России, а также способствовать ускоренному вовлечению экономического потенциала региона в мировую экономику.

### **Библиографический список:**

1. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gks.ru>.
2. Стратегия социально-экономического развития Сибири до 2020 года. Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 5 июля 2010 г. № 1120-р [Электронный ресурс]. URL: [www.sibfo.ru/strategia/strdoc.php](http://www.sibfo.ru/strategia/strdoc.php).

УДК 656.13.05

## **МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В ЗОНЕ ОСТАНОВОЧНЫХ ПУНКТОВ МАРШРУТНОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА**

**Капский Д.В.<sup>1</sup>, Самойлович Т.Н.<sup>2</sup>**

*Белорусский национальный технический университет,  
220013, Белоруссия, г. Минск, пр-т Независимости, 65,  
<sup>1</sup>Denis\_K@tut.by; <sup>2</sup>Tanus-sam@yandex.ru*

### **Аннотация**

В статье рассмотрена методика расчета экономических потерь в зоне остановочных пунктов маршрутного пассажирского транспорта. Целью методики является расчет экономических потерь для их дальнейшего сравнения при различных параметрах остановочных пунктов маршрутного пассажирского транспорта (ОП МПТ). Под потерями понимается стоимость тех издержек, которых могло бы и не быть при отсутствии каких-либо ограничений (в данном случае – ОП МПТ с его параметрами).

**Ключевые слова:** остановочный пункт маршрутного пассажирского транспорта, экономические потери, потери скорости, карман, длина остановочной площадки.

## **THE METHOD OF DETERMINING THE ECONOMIC LOSS IN THE STOPPING POINTS OF SHUTTLE PASSENGER TRANSPORT**

**Kapsky D., Samoylovich T.**

*Belarusian National Technical University*

## Abstract

The paper regards the method of calculation of economic losses at bus stop area. The aim of the method is to compare the losses on bus stops with different parameters. The losses shall be understood to mean value of those costs, which could have been avoided in absence of any restrictions (in this case – the bus stop with its parameters).

**Key words:** bus stop, economic losses, velocity losses, bus stop bay, bus stop length, road lane.

Расчет экономических потерь проводится по общей методике, предложенной в [1,2]. Экономические потери определяются по формуле

$$\Pi_{\text{эки}} = \frac{1,25}{I} \cdot (\Pi_d + \Pi_o), \text{ у.е./год}, \quad (1)$$

где  $I$  – общий интервал движения маршрутных пассажирских транспортных средств (МПТС) на ОП МПТ, мин;

$\Pi_d$  – экономические потери от задержек транспорта, у.е./год;

$\Pi_o$  – экономические потери от остановок транспорта, у.е./год.

$$\Pi_d = d \cdot Q \cdot K_{нз} \cdot \Phi_{\Gamma} \cdot C_e \cdot K_{\text{ес}} \cdot K_{\text{TF}}, \quad (2)$$

$$\Pi_o = e_{o1} \cdot Q_1 \cdot K_{нз} \cdot \Phi_{\Gamma} \cdot C_o \cdot K_{\text{TF}}, \quad (3)$$

где  $d$  – удельная задержка всего потока с/авт;

$e_{o1}$  – удельная остановка, ост./авт;

$Q$  – интенсивность движения (ИД), физическая, а/ч, чел/ч;

$K_{нз}$  – экономический коэффициент приведения (табл. 1). Для пешеходов  $K_{нз} = 1$ ;

$\Phi_{\Gamma}$  – годовой фонд времени, ч/год, (табл. 2);

$C_e, C_o$  – стоимость издержек, (табл. 3);

$K_{\text{ес}}$  – коэффициент приведения размерностей, для расчета задержек транспорта и пешеходов  $K_{\text{ес}} = 1/3600$ , для остальных видов издержек  $K_{\text{ес}}$  равен единице;

$K_{\text{TF}}$  – поправочный коэффициент годового фонда времени, учитывает транспортные средства, проезжающие искусственную неровность поздним вечером, ночью и ранним утром (табл. 2).

Влиянием ОП МПТ обусловлены следующие издержки:

- при отсутствии кармана (или недостаточной длине кармана) перестроение с крайней правой полосы с хода для объезда ОП МПТ. Удельная задержка при перестроении в левую полосу с хода равна:

Таблица 1

Коэффициенты приведения транспортных средств [1]

Тип транспортных средств	Группа	Индекс	$K_{пн}$	$K_{пэ}$
Мотоциклы, мотороллеры, мопеды	Мотоциклы	М	0,7	0,4
Легковые, грузопассажирские, микроавтобусы	Легковые	Л	1,0	1,0
Грузовые, тракторы, сельскохозяйственные машины	Грузовые	Г	1,4	1,7
Автопоезда, тракторные поезда	Автопоезда	П	2,3	3,0
Маршрутный пассажирский транспорт (автобус)	Автобусы	О	2,0	8,0
Маршрутный пассажирский транспорт (автобус) сочлененный	Автобусы сочлененные	С	2,6	14
Маршрутный пассажирский транспорт (троллейбус)	Троллейбусы	Θ	2,0	8,0
Маршрутный пассажирский транспорт (троллейбус) сочлененный	Троллейбусы сочлененные	Е	2,6	14

Таблица 2

Годовой фонд времени [2]

Уровень нагрузки	Суммарная интенсивность движения конфликтующих потоков (при соотношении главного и второстепенного потока), авт./ч	Годовой фонд времени для нерегулируемых объектов	Значение коэффициента годового фонда времени
		$\Phi_{ин}, \text{ч/год}$	$K_{TF}$
Слабый	менее 1000×500	3600	1,143
Средний	более 1000×500	4200	1,167
Сильный	более 2000×1000	4800	1,200

Таблица 3

Стоимость издержки [1,2]

Наименование		Обозначение	Размерность	Значение
Стоимость одного часа задержки приведенного автомобиля		$C_d$	у.е./ч;	1,8
Стоимость одного часа задержки пешехода		$C_{дп}$	у.е./ч	0,25
Стоимость одной остановки	для загородных дорог	$C_o$	у.е./ост	0,06
	для улиц населенных пунктов			0,04
	для жилых зон и дворовых территорий;			0,01
Стоимость одного километра перепрохода		$C_{сп}$	у.е./км	0,1
Стоимость одного километра перепробега		$C_s$	у.е./км	0,09
Стоимость одного литра топлива		$C_F$	у.е./литр	0,4
Стоимость 1 часа задержки МПТС		$C_B$	у.е./час	704

$$d_{\text{см}} = \frac{e^{q_2 \cdot T} - q_2 \cdot T - 1}{q_2}, \quad (4)$$

где  $q_2$  – ИД на второй полосе, а/с;

$T$  – приемлемый интервал в главном конфликтующем потоке.

$$T' = 3 \cdot \sqrt{K_{\text{пп}}}, \quad (5)$$

где  $K_{\text{пп}}$  – динамический коэффициент приведения;

- остановка ТС, не сумевших выполнить маневр перестроения

$$e_{01} = \frac{7 \cdot v_{02}}{S_1 - 6 \cdot v_{02}} \cdot \left( 1 - \frac{e^{-2,5 \cdot q_2} \cdot e^{-2 \cdot q \cdot T}}{1 - e^{-2,5 \cdot q_2} \cdot (1 - e^{-q \cdot T})} \right), \quad (6)$$

где  $S_1$  – протяженность перегона, свободного от влияния ОП МПТ. В ходе исследования влияния ОП МПТ на транспортный поток было установлено, что торможение МПТС перед ОП МПТ начинается на расстоянии 75 м, при этом часть ТС снижает скорость вслед за МПТС, часть выполняет перестроение; таким образом, протяженность перегона, свободного от влияния ОП МПТ рассчитывается как расстояние до ближайшего перекрестка перед ОП МПТ или до предыдущего ОП МПТ за вычетом 75 м и длины участка разгона с предыдущего ОП МПТ.

$v_{02}$  – скорость движения по первой полосе на участке  $S_1$

$$S_1 = S - S_0, \quad (7)$$

где  $S_0$  – зона влияния ОП МПТ. Расстояние влияния ОП МПТ на основной ТП складывается из длин участков торможения МПТС, ОП МПТ, разгона МПТС. Длина участка торможения равна 75 м до ОП МПТ. Длина ОП МПТ  $L_{\text{О.Пл}}$  рассчитывается по методике, приведенной ниже, при выезде на ПЧ МПТС набирает скорость не мгновенно, при этом его опережают или обгоняют ТС основного ТП. Для совершения обгона (опережения) в населенном пункте оптимальная скорость обгоняющего должна быть больше скорости обгоняемого на 10-20 км/ч. Таким образом, обгон (опережение) будет предприниматься водителями в случае, пока скорость МПТС не достигнет 40 км/ч (при учете ограничения скорости в населенном пункте до 60 км/ч). МПТС име-

ет ускорение 0,5 м/с<sup>2</sup>, разгон до 40 км/ч происходит на расстоянии 110 м. При низкой скорости транспортного потока это расстояние уменьшается.

$$S_0 = L_T + L_{\text{ОПЛ}} + L_P, \quad (8)$$

$$L_{\text{О.ПЛ}} = \sum_{k=1}^{K_{\text{МПТС}}} l_k (P_{\text{СОЧЛ}}^k) + 2 \cdot l_{36} + 2 \cdot l_{\text{ош}} + l_{\text{маршр}}, \quad (9)$$

где  $l_{36}$  – длина зазора безопасности (расстояние между стоящими МПТС),  $l_{36}=1\text{м}$ ;

$l_{\text{ош}}$  – длина отгонов уширения. По ТКП 45-3.03-227-2010 равна 20-30 м, в стесненных условиях – 10-20 м;

$l_{\text{маршр}}$  – длина маршрутных такси (по табл. 3).

$$P_{\text{СОЧЛ}} = \sum_{i=1}^n P_{i\text{МПТС}} \cdot \Delta_{\text{СОЧЛ}}, \quad (10)$$

где  $\Delta_{\text{СОЧЛ}}$  – доля сочлененных МПТС на маршруте. Можно определить при проведении замеров или уточнять в автобусном парке или троллейбусном депо.

Количество МПТС на  $i$ -м маршруте, прибывающих в час:

$$N_{\text{МПТС}i} = \frac{60}{I_{\text{МПТС}i}}, \quad (11)$$

где  $I_{\text{МПТС}i}$  – интервал движения МПТС на  $i$ -м маршруте, мин;

Вероятность прибытия МПТС  $i$ -го маршрута:

$$P_{i\text{МПТС}} = \frac{N_{\text{МПТС}i}}{\sum_{i=1}^n N_{\text{МПТС}i}}, \quad (12)$$

где  $n$  – количество маршрутов.

$$v_{02} = \frac{S_1 \cdot v_{01}}{S_1 + d_{\text{см}} \cdot v_{01}}, \quad (13)$$

$$v_{01} = 64 - 0,015 \cdot Q_2 \leq 60 \text{ км/ч}, \quad (14)$$

где  $Q_2$  – ИД на второй полосе, а/ч.;

Таблица 4

*Длина места на ОП МПТ при остановке маршрутного такси*

Длина (при учете зазора безопасности), $l_{\text{маршр}}, \text{м}$	Доля маршрутных такси, $\Delta_{\text{маршр}}$
6-8	$\geq 0,1$
0	$\leq 0,1$

Таблица 5

*Количество расчетного числа МПТС для определения длины ОП МПТ в зависимости от общего интервала движения*

<i>Расчетное количество МПТС на ОП МПТ, <math>K_{\text{МПТС}}</math></i>	<i>Общий интервал движения, <math>I</math>, мин.</i>
1	более 2,2
2	[0,9 - 2,2]
3	[0,7 - 0,9]
4	менее 0,7

Таблица 6

*Расчетная длина МПТС в зависимости от вероятности прибытия одного сочлененного МПТС*

<i>Расчетная длина МПТС, <math>l_k</math>, м</i>	<i>Вероятность прибытия одного сочлененного МПТС</i>
12 (если обслуживаются только троллейбусные маршруты) 14,5	$P_{\text{сочл}}^k < 0,05$
18,4	$P_{\text{сочл}}^k \geq 0,05$

Таблица 7

*Количество расчетного числа МПТС для определения длины ОП МПТ в зависимости от общего интервала движения*

<i>Расчетное количество МПТС на ОП МПТ, <math>K_{\text{МПТС}}</math></i>	<i>Общий интервал движения, мин.</i>
1	более 2,2
2	[0,9 - 2,2]
3	[0,7 - 0,9]
4	менее 0,7

- задержка при слиянии с места

$$d_{\text{сл}} = \frac{e^{q_2 \cdot T} - q_2 \cdot T'' - 1}{q_2}, \quad (15)$$

$$T'' = 4,5 \cdot \sqrt{K_{\text{пп}}}. \quad (16)$$

Скорость движения остановленных ТС с учетом торможения и разгона (по 4 с), но без учета простоя

$$v_{03} = \frac{S_1 \cdot v_{01}}{S_1 + 2 \cdot 4 \cdot v_{01}}; \quad (17)$$

- потери скорости на левой полосе вследствие перераспределения ИД.

Скорость потока на второй полосе в зоне влияния ОП МПТ

$$v_{04} = 64 - 0,015 \cdot (Q_1 + Q_2), \quad (18)$$

Таким образом, имея распределение ИД, СД и времени прохождения отдельных участков транспортным потоком, можно определить среднее время проезда перегона при наличии ОП МПТ

$$t_0 = \frac{\sum Q_i \cdot t_i}{Q_i}, \quad (19)$$

где  $Q_i$  – ИД на участках  $S_i$ , а/ч.

Среднее время проезда перегона при отсутствии стоянки определяется по формуле

$$t_1 = \frac{S}{v_1}, \quad (20)$$

где  $v_1$  – скорость движения при отсутствии стоянки а/ч.

$$v_1 = \frac{64 - 0,015 \cdot Q_1 \cdot 0,5}{3,6}, \quad (21)$$

$$d = t_0 - t_1. \quad (22)$$

При наличии стоянки перед ОП МПТ по ходу движения МПТС выезжают во вторую полосу из-за занятой первой и поэтому теряют приоритет при выезде. Появляются задержки МПТС при выезде, расчет которых ведется так же, как и задержки основного ТП (транспортного потока) при слиянии с места. Если учитывать, что в сутки МПТС работает в среднем 12 часов, за которые совершается 4 оборота по маршруту и перевозится в среднем 1600 пассажиров, а стоимость провоза 1 пассажира – 0,44 у.е. (в сутки – 704 у.е.), то стоимость задержки МПТС составляет 704 у.е./час. При этом торможение и разгон происходят уже не на первой, а на второй полосе.

При наличии кармана зона влияния ОП МПТ на транспортный поток уменьшается до расстояния разгона МПТС при выезде из кармана. При этом появляются задержки МПТС при въезде (незначительные) и выезде (2 с) из кармана при условии, что остальные участники движения соблюдают правила и отдают приоритет МПТС при его выезде из кармана.

Влияние светофорного объекта (СФО) обусловлено «пачкообразной» структурой транспортного потока, а рассеиванию «пачки» способствует наличие нерегулируемых пешеходных переходов (НППХ), перекрестков, выездов из прилегающих территорий, наличие стоянок вдоль проезжей части (ПЧ), наличие других ОП МПТ. На ровном участке дороги рассеивание пачки возможно ввиду разных скоростей движения транспортных средств (ТС), поэтому влияние СФО

распространяется на ОП МПТ, если в его зоне основной ТП движется в «пачке», обусловленной наличием СФО на любом расстоянии.

Степень задержек основного ТП после проезда СФО зависит от количества фаз регулирования. При наличии левого (или правого) поворота со второстепенного направления в фазе с зеленым сигналом пешеходам, пересекающим основное направление при количестве ТС на светофоре близкому к потоку насыщения, у МПТС не остается приемлемого интервала для выезда из кармана или объезда автомобилей, остановившихся после ОП МПТ, при выезде без помех основному ТП. Если же интенсивность движения ТС меньше потока насыщения или есть конфликт с пешеходами, то 65% МПТС выезжают из кармана или объезжают припаркованные автомобили без создания помех для основного транспортного потока.

При наличии пересечения перед ОП МПТ появляются правоповоротные второстепенные перестроения при стоянке МПТС вне кармана.

Следует так же отметить, что на дороге, проезжая часть которой имеет только по одной полосе движения в каждом направлении, в зоне ОП МПТ вместо опережения выполняется обгон или движение происходит на узком участке (сужение дороги ввиду наличия МПТС на ОП МПТ).

Для проведения расчета необходимы следующие исходные данные: ИД по полосам и состав ТП; ИД МПТС; состав МПТС (троллейбусы (сочлененные троллейбусы), автобусы (сочлененные автобусы), маршрутные такси); параметры светофорного цикла; пассажирообмен, пассажиропоток для расчета времени стоянки и задержек пассажиров (в расчете предлагается среднее значение); скорость движения основного ТП (в расчете предлагается среднее значение); расстояние до ближайшего перекрестка или предыдущего ОП МПТ.

Методика позволяет оценить экономические потери в зоне остановочных пунктов маршрутного пассажирского транспорта, которые в дальнейшем могут использоваться для анализа эффективности функционирования ОП МПТ и внесения изменений со сравнением возможных результатов.

### ***Библиографический список***

1. Врубель Ю. А. Исследования в дорожном движении: учебно-методическое пособие к лабораторным работам для студентов специальности 1-44 01 02 «Организация дорожного движения». – Мн.: БНТУ, 2007. – 178 с.
2. Врубель Ю.А., Капский Д.В., Кот Е.Н. Определение потерь в дорожном движении: монография. – Мн.: БНТУ, 2006. – 240 с.